



# KOREAN PATENT ABSTRACTS(KR)

Document Code:A

(11) Publication No.1020010027330 (43) Publication Date. 20010406

(21) Application No.1019990039031 (22) Application Date. 19990913

(51) IPC Code:

G02B 6/00

(71) Applicant:

SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.

(72) Inventor:

KO, JUN HO

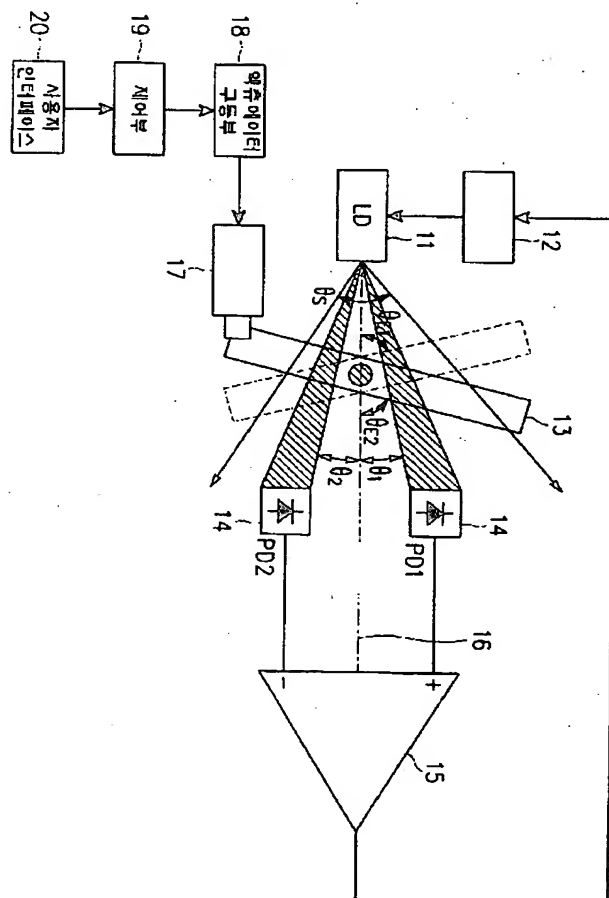
PARK, GIL YONG

(30) Priority:

(54) Title of Invention

APPARATUS FOR STABILIZING WAVELENGTH FOR LASER DIODE

Representative drawing



(57) Abstract:

PURPOSE: An apparatus for stabilizing wavelength for a laser diode is provided to change the wavelength for stabilization automatically by user input without setting the apparatus manually or taking the place of it.

CONSTITUTION: An apparatus for stabilizing wavelength for a laser diode has a laser diode(11), a temperature adjustor (12) altering the operating temperature of the laser diode(11) depending on a stabilization signal. A pair of photo-diode (14) detects the light from the laser diode to output it. An etalon filter(13) transmits the light with transmittance based on the incident angle and wavelength. The etalon filter(13) is rotated to make definite angle for optical axis depending change amount of the wavelength for stabilization. A comparator(15) outputs the stabilization signal to corresponding to difference of two outputs from the pair of photo-diode (14). An actuator rotates the etalon filter (13). A user interface(20) is for inputting stabilization wavelength information from user. A controller(1) outputs a driving signal of the actuator depending the stabilization wavelength information. An actuator driving part(18) drives the actuator.

COPYRIGHT 2001 KIPO

if display of image is failed, press (F5)

(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. 6

(11) 공개번호 10-2001-0027330

G02B 6 /00

(43) 공개일자 2001년04월06일

(21) 출원번호 10-1999-0039031

(22) 출원일자 1999년09월13일

(71) 출원인 삼성전자 주식회사

(72) 발명자 경기 수원시 팔달구 매탄3동 416  
고준호

경기도성남시분당구구미동77까치마을107동502호

박길용

(74) 대리인 대구광역시남구대명5동304-5  
이건주

심사청구 : 있음

(54) 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치

요약

본 발명에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치는, 동작 온도에 따라 발진파장이 변화하는 레이저 다이오드; 안정화 신호에 따라 레이저 다이오드의 동작 온도를 변경시키는 온도 조절기; 각각 레이저 다이오드에서 방출된 일정 영역의 광을 검출하여 검출한 광의 세기에 대응하는 파장편이 검출신호를 출력하는, 서로 인접한 한 쌍의 포토다이오드; 레이저 다이오드와 한쌍의 포토다이오드의 사이에 위치하고, 포토다이오드로 입사하는 일정 영역의 광을 입사각 및 파장에 따른 투과율로 투과시키며 안정화 파장의 변화량에 따라 광축과 일정한 각을 이루도록 회전되는 에탈론 필터; 레이저 다이오드의 발진 파장을 안정화 파장으로 유지하기 위하여 두 포토다이오드들의 파장편이 검출신호들의 차에 대응되게 상기 안정화 신호를 온도 조절기로 출력하는 비교기; 에탈론 필터를 안정화 파장의 변화량에 따른 각도로 회전시키기 위한 액츄에이터; 레이저 다이오드의 안정화 파장 정보를 사용자로부터 입력받는 사용자 인터페이스; 사용자 인터페이스를 통해 입력된 안정화 파장 정보에 따라 대응하는 액츄에이터 구동신호를 출력하는 제어부; 및 액츄에이터 구동신호에 응답하여 액츄에이터를 구동시키는 액츄에이터 구동부를 포함한다.

대표도

도1

명세서

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치의 구성도.

도 2는 에탈론 필터의 위상별 투과율을 설명하기 위한 그래프.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치를 설명하기 위한 도면이다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 레이저 다이오드(laser diode)의 파장 안정화에 관한 것으로서, 특히 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치에 관한 것이다.

광통신에 있어서, 광섬유는 넓은 파장 대역을 가지고 있음에도 불구하고 광신호의 지나친 분산 및 손실을 피하기 위하여 극히 좁은 대역만을 사용하고 있다.

파장 분할 다중화기(wavelength division multiplexer)는 상기 광통신 파장 대역에 가능한 많은 수의 광신호들을 전송하기 위하여 극히 작은 파장 간격을 가지는 광신호들을 다중화한다. 상기 파장 분할 다중화는 예를 들어, 하나의 광섬유에 다수의 광신호들을 동시에 전송하는 것을 말한다. 이에 따른 문제점은, 상기 각각의 광신호를 송신하는 광원이 내부 온도 상승 또는 기타 원인으로 인하여 정확한 파장대의 광신호를 송신하지 못할 경우에, 상기 광신호들이 광섬유를 통해 전송되면서 겪게되는 분산, 손실 등에 의하여 상기 광신호의 수신부에서는 상기 광신호들을 완전히 구분하지 못할 수도 있다는 것이다. 또한, 상기 광원이 초기에 정확한 파장제어를 한다고 해도 장기간에 걸친 안정성까지 보장하기는 힘들다. 상기 광신호를 발진하는 레이저는 그 종류가 다양하지만, 통상적으로 레이저 다이오드와 같은 반도체 레이저를 사용한다. 상기 레이저 다이오드는 통상적으로 온도 민감도가 높다. 즉, 상기 레이저 다이오드는 동작 온도에 따라 발진 파장이 변화하는 것이다. 따라서, 상기 레이저 다이오드의 동작 온도를 제어할 수 없을 경우에, 상기 온도 민감도는 발진 파장 오차의 한 원인이 된다.

한편, 상기 레이저 다이오드에 온도 제어기를 구비하여 상기 레이저 다이오드의 발진 파장을 안정화하거나 상기 발진 파장의 대역폭을 넓힐 수도 있다. 상기 레이저 다이오드의 온도 민감성을 이용하여 발진 파장 대역폭을 넓히는 방법은 후술하는 바와 같다. 실험적으로 레이저 다이오드의 동작 온도에 따른 발진 파장을 분석하여 데이터 베이스(database)를 작성하고, 상기 데이터 베이스에 근거하여 단순히 레이저 다이오드의 동작 온도만을 조절하여 발진 파장을 제어할 수 있다. 또한, 상기 레이저 다이오드의 온도 민감성을 이용하여 발진 파장을 안정화하는 방법은 후술하는 바와 같다. 파장 감시기를 구비하여 상기 레이저 다이오드의 발진 파장을 검출한다. 피드백(feedback) 회로를 구비하여 상기 파장 감시기가 검출하는 광신호를 전기 신호로 변환하여 분석하고, 상기 분석에 따른 안정화 신호를 출력한다. 온도 제어기를 구비하여 입력된 상기 안정화 신호에 따라 상기 레이저 다이오드의 동작 온도를 조절하여 발진 파장을 안정화한다. 따라서, 종래의 레이저 다이오드의 동작 온도를 이용한 파장 안정화 장치는 크게 상기한 세 부분들, 즉 파장감시기, 피드백 회로 및 온도 제어기로 구성된다.

상기한 파장 안정화 장치의 예로서, 버나드 빌레누브(Bernard Villeneuve) 등에 의하여 발명되어 특허허여된 미국특허번호

호 제5,825,792호(WAVELENGTH MONITORING AND CONTROL ASSEMBLY FOR WDM OPTICAL TRANSMISSION SYSTEMS)에서는 에탈론 필터(etalon filter)를 이용한 파장 안정화 장치가 개시되어 있다. 상기 미국특허번호 제5,825,792호에서는 에탈론 필터에 입사하는 광의 입사각 및 파장에 따른 상기 에탈론 필터의 투과 특성을 이용하여 레이저 다이오드의 발진 파장을 검출하고, 온도 제어를 이용하여 상기 레이저 다이오드의 발진 파장을 안정화한다. 또한, 상기 미국특허번호 제5,825,792호에 개시된 파장 안정화 장치는 초기 셋팅(setting)시에, 상기 에탈론 필터가 광축과 이루는 각도를 상기 레이저 다이오드의 안정화하려는 발진 파장, 즉 안정화 파장에 대응하는 값으로 설정한다.

그러나, 종래의 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치는, 상기 레이저 다이오드의 안정화 파장을 변경할 때에, 상기 파장 안정화 장치를 교체하거나 수동으로 상기 파장 안정화 장치를 셋팅(setting)해야하는 문제점이 있었다. 또한, 상기 파장 안정화 장치를 수동으로 셋팅할 때에, 이로 인한 발진 파장 오차가 발생할 가능성이 높다는 문제점이 있었다.

#### 발명이 이루고자하는 기술적 과제

본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출한 것으로서, 본 발명의 목적은 안정화 파장이 사용자 입력에 의해 자동으로 변경될 수 있는 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치를 제공함에 있다.

상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치는,

동작 온도에 따라 발진 파장이 변화하는 레이저 다이오드;

안정화 신호에 따라 상기 레이저 다이오드의 동작 온도를 변경시키는 온도 조절기;

각각 상기 레이저 다이오드에서 방출된 일정 영역의 광을 검출하여 상기 검출한 광의 세기에 대응하는 파장편이 검출신호를 출력하는, 서로 인접한 한 쌍의 포토다이오드;

상기 레이저 다이오드와 한쌍의 포토다이오드의 사이에 위치하고, 상기 포토다이오드로 입사하는 일정 영역의 광을 입사각 및 파장에 따른 투과율로 투과시키며 안정화 파장의 변화량에 따라 광축과 일정한 각을 이루도록 회전되는 에탈론 필터;

상기 레이저 다이오드의 발진 파장을 안정화 파장으로 유지하기 위하여 상기 두 포토다이오드들의 파장편이 검출신호들의 차에 대응되게 상기 안정화 신호를 상기 온도 조절기로 출력하는 비교기;

상기 에탈론 필터를 안정화 파장의 변화량에 따른 각도로 회전시키기 위한 액츄에이터;

상기 레이저 다이오드에 대한 안정화 파장 정보를 사용자로부터 입력받는 사용자 인터페이스;

상기 사용자 인터페이스를 통해 입력된 안정화 파장 정보에 따라 대응하는 액츄에이터 구동신호를 출력하는 제어부; 및

상기 액츄에이터 구동신호에 응답하여 상기 액츄에이터를 구동시키는 액츄에이터 구동부를 포함한다.

#### 발명의 구성 및 작용

이하에서는 첨부도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능이나 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하지 않게 하기 위하여 생략한다.

도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치의 구성도이다. 레이저 다이오드(11)에서 일정한 방사각,

$\theta_s$ 을 갖는 광이 방출되고 있다. 상기 레이저 다이오드(11)는 전면과 후면에서 동시에 광을 방출하며, 상기 전면에서 방출되는 광은 광신호로 사용되고, 후면에서 방출되는 광은 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장 안정화 및 안정화 파장 변경을 위해 사용된다. 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장 정보는 사용자 인터페이스(20)로 입력된다. 제어부(19)는 상기 사용자 인터페이스(20)로 입력된 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장 정보에 따라 액츄에이터 구동신호를 출력한다. 상기 제어부(19)의 세부 동작 과정은 4 단계로 분류된다.

제1 단계에서는, 상기 사용자 인터페이스(20)로부터 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장 정보를 입력받는다.

제2 단계에서는, 상기 에탈론 필터(13)가 현재 광축(16)과 이루고 있는 각도 정보를 파악한다. 상기 각도 정보는 이미 저장되어 있는 값이거나 검사에 의한 값일 수 있다. 상기 에탈론 필터(13)의 각도 정보는 현재 설정되어 있는 안정화 파장 정보를 나타낸다.

제3 단계에서는, 상기 입력된 안정화 파장 정보에 의해 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장 변화량을 감지한다. 즉, 현재 설정되어 있는 안정화 파장과 상기 입력된 안정화 파장을 비교하여 그 변화량을 감지한다.

제4 단계에서는, 상기 안정화 파장 변화량에 따라 미리 설정된 액츄에이터 구동신호를 출력한다. 즉, 상기 제어부(19)는 상기 안정화 파장 변화량에 대응하는 액츄에이터 구동신호의 데이터베이스를 저장하고 있고, 상기 안정화 파장 변화량이 입력되면 이에 대응하는 액츄에이터 구동신호를 출력한다. 액츄에이터 구동부(18)는 상기 구동신호에 응답하여 액츄에이터 구동전류를 액츄에이터(17)로 공급한다.

상기 액츄에이터(17)는 상기 에탈론 필터(13)를 회전시키는 장치이다. 도 1에서는, 솔레노이드(solenoid)(17)가 액츄에이터로 사용되고 있다. 상기 솔레노이드(17)는 상기 에탈론 필터(13)의 하단부와 결합되어 있으며, 상기 액츄에이터 구동부(18)로부터 입력되는 구동전류에 의해 상기 에탈론 필터(13)를 회전시킨다. 도 1에서는 초기에 상기 에탈론 필터(13)가 상기 광축과

$\theta_{E1}$ 의 각도를 이루고 있었으나, 회전됨에 따라 상기 회전된 에탈론 필터(13)가 상기 광축과

$\theta_{E2}$ 의 각도를 이루게 됨을 보여주고 있다. 상기 변경된 안정화 파장을 기준으로하여 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장을 안정화하게 된다. 상기 에탈론 필터(13)는 상기 액츄에이터(17)에 의해 회전된 상태를 유지하며, 상기 레이저 다이오드(11)로부터 입력된 광을 일정한 투과율로 투과시킨다. 인접한 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)는 각각 상기 에탈론 필터(13)로부터 투과된 광 중에서 일정 영역의 광만을 검출한다. 도 1에서는, 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)로 입사하는 광들을 빗금으로 표시하고 있다. 상기 에탈론 필터(13)는 두 내부 반사면들을 가지고 있으며, 상기 각 내부반사면은 다층의 막들로 구성된다. 상기 레이저 다이오드(11)의 후면에서 방출되어 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)로 입사하는 광들이 상기 광축(16)과 이루는 각도들, 즉

$\theta_1$  및

$\theta_2$ 는 상기 에탈론 필터(12)를 회전시킨다고 해도 변하지 않는다. 여기에서, 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)로 입사하는 각각의 광이 일정 영역에 걸쳐있으나, 상기 포토다이오드들(13 및 14) 사이의 거리가 매우 가깝고 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)와 레이저 다이오드(11)의 거리는 멀다고 가정한다. 즉, 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)로 입사하는 각각의 광은 하나의 각을 가진다고 가정한다. 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)로 입사하는 광들이 광축과 이루는 각도들,

$\theta_1$  및

$\theta_2$ 는 동일하지 않도록 설정된다. 비교기(15)는 상기 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14)에서 출력되는 두 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)를 입력받고, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)의 차에 대응하는 안정화 신호를 출력한다. 즉, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)의 차가 '0'이라면, 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장은 안정화되어 있다는 의미이다. 또한, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)의 차가 '0'이 아닐때는, 상기 비교기(15)가 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장을 안정화시키기 위한 안정화 신호를 온도 조절기(12)로 피드백시킨다. 상기 안정화 신호에 따라 상기 온도 조절기(12)가 상기 레이저 다이오드(11)의 동작 온도를 조절하여 상기 레이저 다이오드(11) 발진파장을 안정화시킨다. 결론적으로, 상기 레이저 다이오드(11)의 파장 안정화 장치는 상기 에탈론 필터(13)의 각도를 조절함으로써 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장의 변경에 대응하고, 한 쌍의 포토다이오드(13 및 14) 및 비교기(15)가 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장이 상기 안정화 파장을 벗어나는 것을 감지하여 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장을 안정화한다.

도 2는 에탈론 필터(13)의 위상별 투과율을 설명하기 위한 그래프이다. 상기 에탈론 필터(13)에 대한 위상,  $\delta$ 는 상기 에탈론 필터(13)로 입사한 광의 내부반사각 및 상기 입사광의 파장에 대한 함수이다.

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} d \cos(\theta)$$

상기 수학식 1에서,  $\delta$ 는 위상,  $\lambda$ 는 상기 에탈론 필터(13) 내부에서의 광의 파장,  $d$ 는 상기 에탈론 필터(13)의 내부반사면들 사이의 거리,  $\theta$ 는 상기 내부 반사면의 법선에 대한 입사광의 내부 반사각을 말한다. 또한, 상기 에탈론 필터(13)의 투과율은 입사광의 세기에 대한 투과광의 세기 비율을 말하며, 상기 투과율은 하기 수학식 2에 따른 것이다.

$$T(\delta) = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

상기 수학식 2에서,  $T(\delta)$ 는 상기 에탈론 필터(13)의 입사광에 대한 투과율,  $R$ 은 상기 에탈론 필터(13)의 입사광에 대한 내부 반사도를 말한다. 상기 내부 반사도는 입사광의 세기에 대한 반사광의 세기비를 의미하며, 1을 기준으로 한 값이다. 도 2에서, 상기 에탈론 필터(13)의 내부 반사도 및 입사광의 내부 반사각을 상수라고 놓는다면, 상기 투과율은 상기 입사광의 파장에 대한 함수가 된다. 또한, 상기 에탈론 필터(13)의 위상별 투과율은 상기 위상이  $\pi$ 의 정수배가 될 때 극대값을 나타낸다. 상기 에탈론 필터(13)의 극대 투과위상은 하기 수학식 3에 따른다.

$$\lambda_M = \frac{2d \cos(\theta)}{q}$$

상기 수학식 3에서,  $\lambda_M$ 은 상기 에탈론 필터(13) 내부에서의 극대 투과파장,  $q$ 는 임의의 정수를 말한다. 상기 수학식 3에 따르면, 상기 에탈론 필터(13)의 극대 투과파장은 입사광의 내부 반사각에 대한 함수가 되고, 상기 내부 반사각은 상기 에탈론 필터(13)에 입사하는 광이 상기 내부 반사면의 법선과 이루는 입사각의 함수이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 레이저 다이오드(11)를 위한 파장 안정화 장치를 설명하기 위한 도면이다. 본 발명에 따른 파장 안정화 장치는 두 가지의 기능을 수행하고 있다. 첫 번째는 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장을 안정화하는 것이다. 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)은 에탈론 필터(13)의 극대 투과파장에서 피크치(peak value)를 나

타내고 있다. 또한, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)은 안정화 파장(

$\lambda_{R1}$ )에서 교차하고 있다. 상기 안정화 파장(

$\lambda_{R1}$ )은 상기 에탈론 필터(13)가 광축과 이루는 각을 조절함으로써 결정된다. 상기 레이저 다이오드(11)의 발진 파장이 상기 안정화 파장을 벗어나게 되면, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)은 서로 동일하지 않게 된다. 따라서, 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)의 차가 발생하게 되고, 비교기(15)가 상기 파장편이 검출신호들(PD1 및 PD2)의 차를 감지하여 이에 대응하는 안정화 신호를 온도 조절기(12)로 피드백시킨다. 상기 온도 조절기(12)는 상기 레이저 다이오드(11)의 동작 온도를 변경시켜서 상기 레이저 다이오드(11)의 발진파장을 안정화한다. 두 번째는, 상기 레이저 다이오드(11)의 안정화 파장을 변경하는 것이다. 상기 에탈론 필터(13)와 광축(16)이 이루는 각도가 변경됨에 따라, 안정화 파장도 변경된 파장(

$\lambda_{R1}$ )에서 변경후 파장(

$\lambda_{R2}$ )으로 이동된다.

한편, 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해서 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도내에서 여러가지 변형이 가능함은 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명하다 할 것이다.

#### 발명의 효과

상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치는 사용자 입력에 따라 레이저 다이오드의 안정화 파장이 자동으로 변경될 수 있다는 이점이 있다.

#### (57) 청구의 범위

청구항 1. 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치에 있어서,

동작 온도에 따라 발진 파장이 변화하는 레이저 다이오드;

안정화 신호에 따라 상기 레이저 다이오드의 동작 온도를 변경시키는 온도 조절기;

각각 상기 레이저 다이오드에서 방출된 일정 영역의 광을 검출하여 상기 검출한 광의 세기에 대응하는 파장편이 검출신호를 출력하는, 서로 인접한 한 쌍의 포토다이오드;

상기 레이저 다이오드와 한쌍의 포토다이오드의 사이에 위치하고, 상기 포토다이오드로 입사하는 일정 영역의 광을 입사각 및 파장에 따른 투과율로 투과시키며 안정화 파장의 변화량에 따라 광축과 일정한 각을 이루도록 회전되는 에탈론 필터;

상기 레이저 다이오드의 발진 파장을 안정화 파장으로 유지하기 위하여 상기 두 포토다이오드들의 파장편이 검출신호들의 차에 대응되게 상기 안정화 신호를 상기 온도 조절기로 출력하는 비교기;

상기 에탈론 필터를 안정화 파장의 변화량에 따른 각도로 회전시키기 위한 액츄에이터;

상기 레이저 다이오드에 대한 안정화 파장 정보를 사용자로부터 입력받는 사용자 인터페이스;

상기 사용자 인터페이스를 통해 입력된 안정화 파장 정보에 따라 대응하는 액츄에이터 구동신호를 출력하는 제어부; 및

상기 액츄에이터 구동신호에 응답하여 상기 액츄에이터를 구동시키는 액츄에이터 구동부를 포함함을 특징으로 하는 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치.

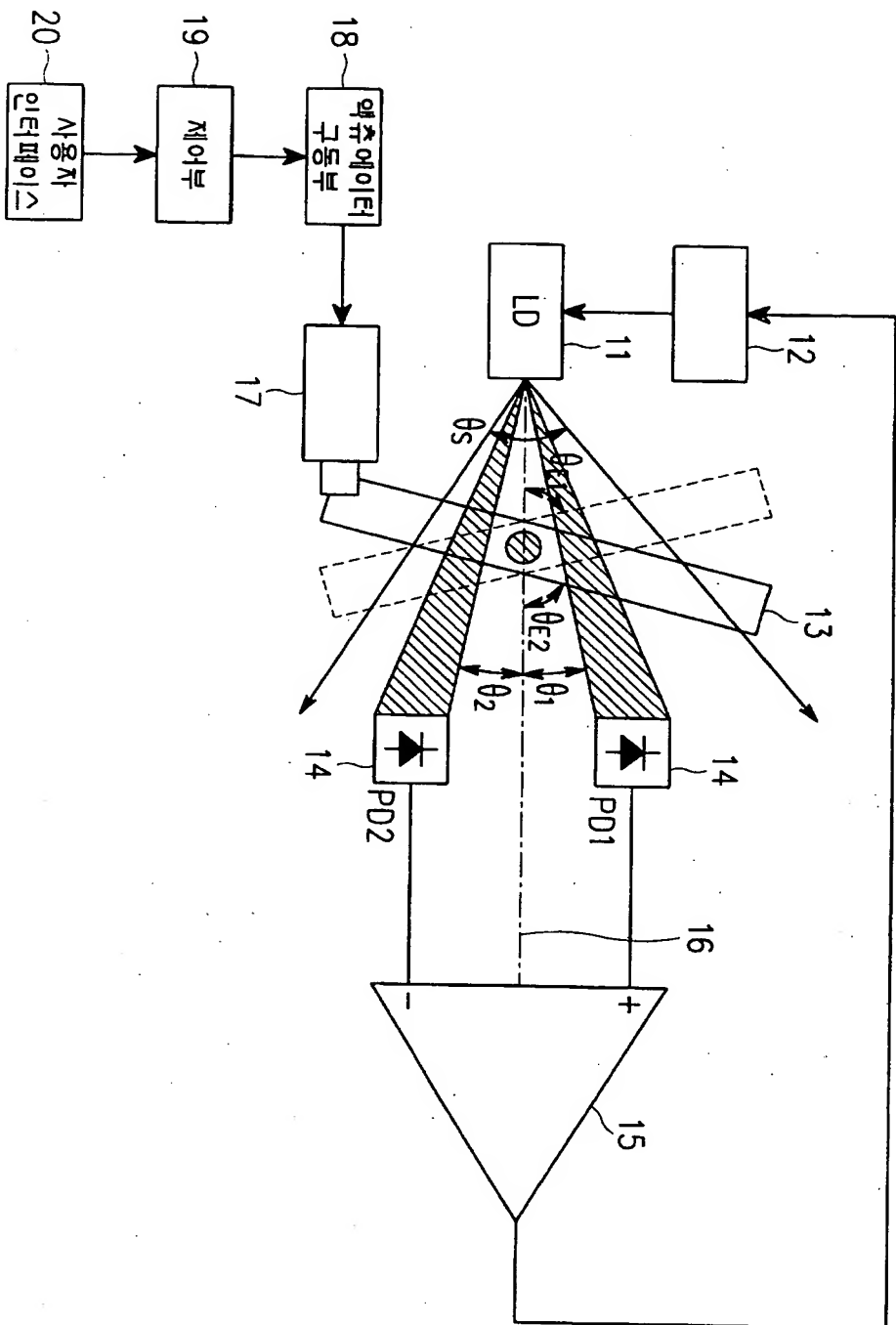
청구항 2. 제1항에 있어서,

상기 제어부는 상기 입력된 안정화 파장과 상기 에탈론 필터의 각도 정보로부터 파악되는 현재 설정되어 있는 안정화 파장의 차를 나타내는 안정화 파장 변화량에 따라 대응하는 상기 액츄에이터 구동신호를 출력함을 특징으로 하는 레이저 다이오드를 위한 파장 안정화 장치.

도면

도면1





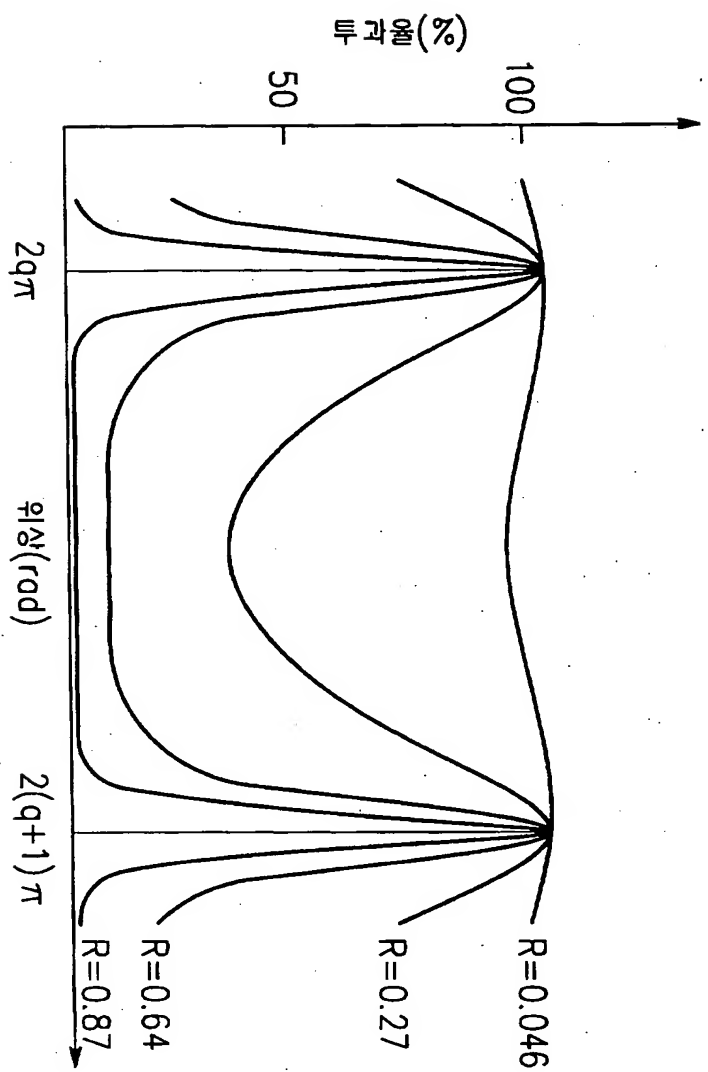


Figure 3

